

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-142596

(43)Date of publication of application : 28.05.1999

(51)Int.Cl.

G21K 1/087

A61N 5/10

G21K 5/04

H01J 37/147

(21)Application number : 10-241354

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 27.08.1998

(72)Inventor : AKIYAMA HIROSHI
HIRAMOTO KAZUO
MATSUDA KOJI
NORIMINE TETSUROU

(30)Priority

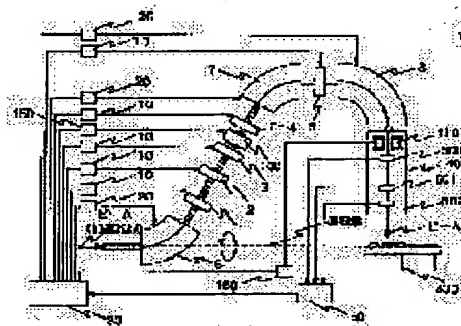
Priority number : 09232114 Priority date : 28.08.1997 Priority country : JP

(54) CHARGED PARTICLE BEAM EMISSION DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To narrow the magnetic pole interval of a scanning electro-magnet to reduce consumption power of the scanning electro-magnet by arranging a four-pole electro-magnet between the two scanning electro-magnets out of a plurality of the scanning electro-magnets.

SOLUTION: A charged particle beam emission device is provided for instance with four-pole electro-magnets 1-5 and scanning electro-magnets 100, 110 deflecting a beam in the directions of an XZ face and a Y-axis respectively. The four-pole electro-magnets 4, 5 are constituted to be put between the scanning electro-magnets 100, 110. The beam deflected by the scanning electro-magnet 100 advances while beta oscillation is performed by the four-pole electro-magnets 4, 5. The center orbit of the beam intersects at the center position of the scanning electro-magnet 110 by making the phase difference of betatron oscillation between the scanning electro-magnets 100, 110 the integer times of substantially 180 degrees by setting of the positions of the scanning electro-magnets 100, 110 and regulation of magnetic field intensity of the four-pole electro-magnets 4, 5, thus enable narrowing the interval of the magnetic pole of the scanning electro-magnet 110.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-142596

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月28日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

G 2 1 K 1/087

G 2 1 K 1/087

S

A 6 1 N 5/10

A 6 1 N 5/10

D

G 2 1 K 5/04

G 2 1 K 5/04

A

H 0 1 J 37/147

H 0 1 J 37/147

Z

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-241354

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(22) 出願日 平成10年(1998) 8月27日

(72) 発明者 秋山 浩

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株

式会社日立製作所電力・電機開発本部内

(31) 優先権主張番号 特願平9-232114

(32) 優先日 平9(1997) 8月28日

(72) 発明者 平本 和夫

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株

式会社日立製作所電力・電機開発本部内

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 松田 浩二

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株

式会社日立製作所電力・電機開発本部内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

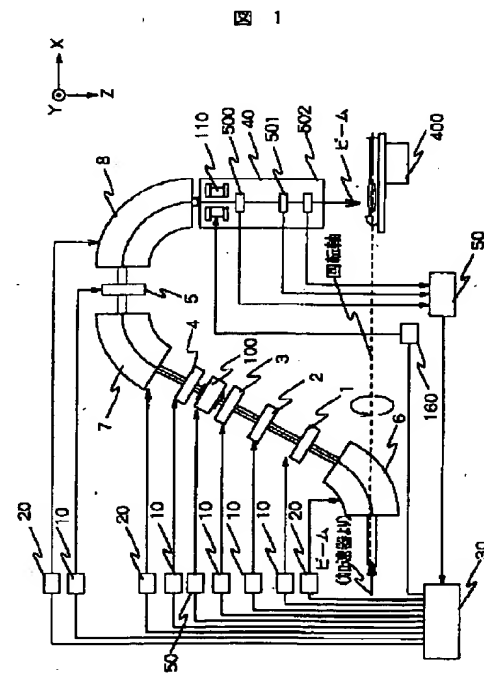
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビーム出射装置

(57) 【要約】

【課題】 走査電磁石の磁極の間隔を狭くして、走査電磁石における消費電力を軽減することができる荷電粒子ビーム出射装置を提供することにある。

【解決手段】 荷電粒子ビーム走査用の走査電磁石100、110を有し、加速器から出射された荷電粒子ビームを出力する照射装置を備えた荷電粒子ビーム出射装置において、走査電磁石100と走査電磁石110の間に四極電磁石4、5を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】荷電粒子ビーム走査用の走査電磁石を複数有し、加速器から出射された荷電粒子ビームを出力する照射装置を備えた荷電粒子ビーム出射装置において、前記複数の走査電磁石のうちの 2 つの走査電磁石の間に四極電磁石を設けたことを特徴とする荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 2】前記四極電磁石に電流を供給する電源と、前記電源から出力される電流を制御する制御装置とを有し、前記 2 つの走査電磁石は、第 1 走査電磁石と、前記四極電磁石を挟んで前記第 1 走査電磁石の下流にある第 2 走査電磁石からなり、前記制御装置は、荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が、前記第 2 走査電磁石の有効磁場範囲内となるように前記電流を制御することを特徴とする請求項 1 記載の荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 3】前記荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点は、前記有効磁場範囲内にある前記第 2 走査電磁石の中心位置に合わせられることを特徴とする請求項 2 記載の荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 4】前記四極電磁石に電流を供給する電源と、前記電源から出力される電流を制御する制御装置とを有し、前記 2 つの走査電磁石は、第 1 走査電磁石と、前記四極電磁石を挟んで前記第 1 走査電磁石の下流にある第 2 走査電磁石からなり、前記制御装置は、前記第 1 走査電磁石と前記第 2 走査電磁石における荷電粒子ビームのベータatron振動の位相差が、略 180 度の整数倍になるように前記電流を制御することを特徴とする請求項 1 記載の荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 5】荷電粒子ビーム走査用の走査電磁石を複数有し、加速器から出射された荷電粒子ビームを出力する照射装置を備えた荷電粒子ビーム出射装置において、前記複数の走査電磁石は、第 1 走査電磁石と、前記第 1 走査電磁石の下流にある第 2 走査電磁石とを含み、荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が、前記第 2 走査電磁石の有効磁場範囲内にあることを特徴とする荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 6】荷電粒子ビーム走査用の走査電磁石を複数有し、加速器から出射された荷電粒子ビームを出力する照射装置を備えた荷電粒子ビーム出射装置において、前記複数の走査電磁石は、第 1 走査電磁石と、前記第 1 走査電磁石の下流にある第 2 走査電磁石とを含み、前記第 1 走査電磁石と前記第 2 走査電磁石における荷電粒子ビームのベータatron振動の位相差が、略 180 度の整数倍であることを特徴とする荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 7】前記複数の走査電磁石のうち最も下流にある走査電磁石の下流に、四極電磁石及び偏向電磁石の少なくとも一方を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 8】前記四極電磁石に電流を供給する電源と、前記偏向電磁石に電流を供給する電源と、前記電源から

出力される電流を制御する制御装置とを有し、前記制御装置は、荷電粒子ビームの中心軌道が、前記走査電磁石により偏向しない場合の荷電粒子ビームの中心軌道と平行となるように前記電流を制御することを特徴とする請求項 7 記載の荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 9】前記照射装置は、回転ガントリーであって、前記走査電磁石は、前記回転ガントリーのビーム輸送系に配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の荷電粒子ビーム出射装置。

【請求項 10】荷電粒子ビームの軌道上に散乱体を配置したことを特徴とする請求項 2 乃至 9 のいずれかに記載の荷電粒子ビーム出射装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は癌の治療、食品の殺菌、植物の品種改良、機械構造物の非破壊検査などに用いられる荷電粒子ビームを出射する荷電粒子ビーム出射装置に係り、特に走査電磁石における消費電力を低減できる荷電粒子ビーム出射装置に関する。

【0002】

【従来の技術】加速器等で発生した高エネルギーの荷電粒子ビーム（以下、ビームと呼ぶ）を癌の治療に用いる場合、ビームを走査して照射対象である患部を照射する照射方法と、ビームを拡大し、拡大したビームをコリメータで照射対象である患部の形状に成形して患部を照射する照射方法とがある。

【0003】上記 2 つの照射方法のうち、前者のビームを走査して照射する照射方法としては、ビームを円形に走査するウォブラー法、ビームをジグザグに走査するラスター走査法、及び照射対象をピクセル状に照射するピクセル走査法がある。これらの照射方法には何れも 2 つの走査電磁石が用いられ、2 つの走査電磁石は偏向の向きが互いに垂直に設定される。走査電磁石は、ビームの進行方向に対して垂直な面内においてビームを走査する。

【0004】図 9 は、ウォブラー法を用いて癌の治療を行う従来の荷電粒子ビーム出射装置を示す。加速器（図示せず）から出射されたビームは回転ガントリーに入射され、照射ノズル 40 から出力される。照射ノズル 40 において、ビームは 2 つの走査電磁石 100、110 により患部位置で円形に走査される。なお、走査電磁石 100 はビームを X 方向に偏向し、走査電磁石 110 は Y 方向に偏向する。両走査電磁石による偏向量を時間的に変化させることによって、ビームを円形に走査することが可能となる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の技術では、走査電磁石 100 の偏向の方向に走査電磁石 110 の磁極があるため、走査電磁石 100 により偏向されたビームが走査電磁石 110 の磁極に衝突しないように、走査

電磁石 110 の磁極の間隔を十分に広げる必要があった。磁極の間隔を広げた場合に、必要とされる磁場を発生させるためには、磁極の間隔が狭い場合に比べて多くの電流を磁極に供給する必要がある、走査電磁石 110 における消費電力が増大するという問題があった。

【0006】本発明の目的は、走査電磁石の磁極の間隔を狭くして、走査電磁石における消費電力を低減することができる荷電粒子ビーム射出装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する第 1 発明の特徴は、荷電粒子ビーム走査用の走査電磁石を複数有し、加速器から射出された荷電粒子ビームを出力する照射装置を備えた荷電粒子ビーム射出装置において、前記複数の走査電磁石のうちの 2 つの走査電磁石の間に四極電磁石を設けたことにある。

【0008】2 つの走査電磁石の間に四極電磁石を設けたことにより、荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が走査電磁石の有効磁場範囲内となるように、荷電粒子ビームのベータトロン振動を調節することができるため、走査電磁石の磁極の間隔を狭くことができ、走査電磁石における消費電力を低減することができる。なお、有効磁場範囲とは走査電磁石が発生する磁場のうち荷電粒子ビームを偏向させる磁場が発生している範囲をいう。具体的には、走査電磁石の磁極の端部から磁極の間隔程度離れた位置までが有効磁場範囲となる。このように有効磁場範囲が磁極の外側にまで及ぶのは、漏れ磁場が存在するためである。

【0009】上記目的を達成する第 2 発明の特徴は、前記四極電磁石に電流を供給する電源と、前記電源から出力される電流を制御する制御装置とを有し、前記 2 つの走査電磁石は、第 1 走査電磁石と、前記四極電磁石を挟んで前記第 1 走査電磁石の下流にある第 2 走査電磁石からなり、前記制御装置は、荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が、前記第 2 走査電磁石の有効磁場範囲内となるように前記電流を制御することにある。

【0010】荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が第 2 走査電磁石の有効磁場範囲内となるように、2 つの走査電磁石の間に設けられた四極電磁石に供給される電流を制御することにより、第 2 走査電磁石の磁極の間隔を狭くことができ、第 2 走査電磁石における消費電力を低減することができる。

【0011】上記目的を達成する第 3 発明の特徴は、前記荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点は、前記有効磁場範囲内にある前記第 2 走査電磁石の中心位置に合わせられることにある。

【0012】荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点を、第 2 走査電磁石の中心位置に合わせることにより、第 2 走査電磁石の磁極の間隔を最小にすることができ、第 2 走査電磁石における消費電力を大幅に低減すること

ができる。

【0013】上記目的を達成する第 4 発明の特徴は、前記四極電磁石に電流を供給する電源と、前記電源から出力される電流を制御する制御装置とを有し、前記 2 つの走査電磁石は、第 1 走査電磁石と、前記四極電磁石を挟んで前記第 1 走査電磁石の下流にある第 2 走査電磁石からなり、前記制御装置は、前記第 1 走査電磁石と前記第 2 走査電磁石における荷電粒子ビームのベータトロン振動の位相差が、略 180 度の整数倍になるように前記電流を制御することにある。

【0014】第 1 走査電磁石と第 2 走査電磁石における荷電粒子ビームのベータトロン振動の位相差が、略 180 度の整数倍になるように、2 つの走査電磁石の間に設けられた四極電磁石に供給される電流を制御することにより、荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が第 2 走査電磁石の有効磁場範囲内となるため、第 2 走査電磁石の磁極の間隔を狭くことができ、第 2 走査電磁石における消費電力を低減することができる。

【0015】上記目的を達成する第 5 発明の特徴は、荷電粒子ビーム走査用の走査電磁石を複数有し、加速器から射出された荷電粒子ビームを出力する照射装置を備えた荷電粒子ビーム射出装置において、前記複数の走査電磁石は、第 1 走査電磁石と、前記第 1 走査電磁石の下流にある第 2 走査電磁石とを含み、荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が、前記第 2 走査電磁石の有効磁場範囲内にあることにある。

【0016】荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が、第 2 走査電磁石の有効磁場範囲内にあるため、第 2 走査電磁石の磁極の間隔を狭くことができ、第 2 走査電磁石における消費電力を低減することができる。

【0017】上記目的を達成する第 6 発明の特徴は、荷電粒子ビーム走査用の走査電磁石を複数有し、加速器から射出された荷電粒子ビームを出力する照射装置を備えた荷電粒子ビーム射出装置において、前記複数の走査電磁石は、第 1 走査電磁石と、前記第 1 走査電磁石の下流にある第 2 走査電磁石とを含み、前記第 1 走査電磁石と前記第 2 走査電磁石における荷電粒子ビームのベータトロン振動の位相差が、略 180 度の整数倍であることにある。

【0018】第 1 走査電磁石と第 2 走査電磁石における荷電粒子ビームのベータトロン振動の位相差が、略 180 度の整数倍であるため、荷電粒子ビームの中心軌道が交差する点が第 2 走査電磁石の有効磁場範囲内となり、第 2 走査電磁石の磁極の間隔を狭くすることができる。よって、第 2 走査電磁石における消費電力を低減することができる。

【0019】上記目的を達成する第 7 発明の特徴は、前記複数の走査電磁石のうち最も下流にある走査電磁石の下流に、四極電磁石及び偏向電磁石の少なくとも一方を

【0020】複数の走査電磁石のうち最も下流にある走査電磁石の下流に、四極電磁石及び偏向電磁石の少なくとも一方を備えたことにより、荷電粒子ビームの中心軌道を、走査電磁石により偏向しない場合の荷電粒子ビームの中心軌道と平行にすることができ、正常組織における線量を低減できる。

【0021】上記目的を達成する第8発明の特徴は、前記四極電磁石に電流を供給する電源と、前記偏向電磁石に電流を供給する電源と、前記電源から出力される電流を制御する制御装置とを有し、前記制御装置は、荷電粒子ビームの中心軌道が、前記走査電磁石により偏向しない場合の荷電粒子ビームの中心軌道と平行となるように前記電流を制御することにある。

【0022】荷電粒子ビームの中心軌道が、走査電磁石により偏向しない場合の荷電粒子ビームの中心軌道と平行となるように、四極電磁石に供給される電流と、偏向電磁石に供給される電流を制御することにより、正常組織における線量を低減できる。

【0023】上記目的を達成する第9発明の特徴は、前記照射装置は、回転ガントリーであって、前記走査電磁石は、前記回転ガントリーのビーム輸送系に配置されることにある。

【0024】走査電磁石を回転ガントリーのビーム輸送系に配置することにより、回転ガントリーの回転半径を小さくすることができ、回転ガントリーが配置される建屋を小さくできる。よって、建設コストを低減することができる。

【0025】上記目的を達成する第10発明の特徴は、荷電粒子ビームの軌道上に散乱体を配置したことにある。

【0026】荷電粒子ビームの軌道上に散乱体を配置したことにより、散乱体で荷電粒子ビームの径を拡大することができ、荷電粒子ビームの走査量を減らすことができる。よって、荷電粒子ビームを照射する時間を低減することができる。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いて本発明の実施例を詳細に説明する。

【0028】（実施例1）図1は本発明の好適な一実施例である荷電粒子ビーム出射装置を示す。なお、本実施例の荷電粒子ビーム出射装置は、荷電粒子ビーム（以下、ビームと呼ぶ）を患者の患部に照射することにより癌の治療を行うものであり、図1は、患者用ベッド400の回りを回転軸を中心に回転可能な回転ガントリーを示す。

【0029】図1において、加速器（図示せず）から出射されたビームは、回転ガントリーに入射される。回転ガントリーに入射されたビームは、四極電磁石1～5及び偏向電磁石6～8が発生する磁場により、予め設定された軌道に沿って照射ノズル40に輸送される。なお、

四極電磁石1～5の各々には電流を供給するための電源10が設けられ、四極電磁石1～5は電源10より供給される電流に応じた磁場強度の磁場を発生する。一方、偏向電磁石6～8の各々にも電源20が設けられており、偏向電磁石6～8は電源20より供給される電流に応じた磁場強度の磁場を発生する。電源10及び20が出力する電流は、制御装置30においてビームのエネルギー等に基づき決定され、制御装置30の出力信号により各電源に設定される。以下、偏向電磁石6から偏向電磁石8までの構成をビーム輸送系と総称する。

【0030】本実施例では、走査電磁石100が四極電磁石3と四極電磁石4の間に設けられ、走査電磁石110は偏向電磁石8の下流の照射ノズル40内に設けられる。走査電磁石100は、偏向電磁石6～8の偏向面方向（XZ面方向）にビームを偏向する走査電磁石で、偏向電磁石6～8の偏向面に対して垂直な方向（Y方向）の磁場を発生する。走査電磁石110は、偏向電磁石6～8の偏向面に垂直な方向（Y方向）にビームを偏向する走査電磁石で、偏向電磁石6～8の偏向面方向（XZ面方向）の磁場を発生する。走査電磁石100及び110には、それぞれ電源150及び160が設けられ、制御装置30の出力信号に基づいた大きさの電流が電源150及び160から走査電磁石100及び110に与えられる。走査電磁石100及び110は、供給された電流に応じた磁場強度の磁場を発生する。この制御装置30の出力信号を時間的に変化させて、電源150及び160が出力する電流、及び走査電磁石100及び110が発生する磁場の磁場強度を時間的に変化させることにより、患部においてビームを走査することができる。なお、制御装置30から電源150及び160に与えられる出力信号は、患部の形状やビームの強度等に基づいて決定される。

【0031】図2は、回転ガントリーを直線で表わした場合のビームの中心軌道及び各電磁石の配置を示す。なお、図2（a）は偏向電磁石6～8の偏向面に対して垂直な方向（Y方向）から見た回転ガントリーを示し、図2（b）は偏向電磁石6～8の偏向面方向（XZ面方向）から見た回転ガントリーを示す。

【0032】図2（b）に示すように、XZ面方向から見ると、走査電磁石110が発生する磁場によりビームがY方向に偏向され、ビームの軌道勾配が変化している。一方のY方向から見た場合にも、図2（a）に示すように、走査電磁石100により偏向電磁石6～8の偏向面に対して垂直の磁場を発生させると、ビームがXZ面方向に偏向され、ビームの軌道勾配が変化するが、走査電磁石100の下流では四極電磁石4及び5の作用によりビームがベータatron振動をしながら進んでいく。つまり、走査電磁石100により偏向されたビームは、四極電磁石4及び5により回転ガントリーの中心方向に偏向され、走査電磁石110を通過するときには、走査

電磁石 110 の中心を通る。このとき、走査電磁石 100 と走査電磁石 110 におけるビームのベータatron 振動の位相差は略 180 度となっている。このように、走査電磁石 110 において、ビームが走査電磁石 110 の中心位置を通るため、走査電磁石 110 の磁極の間隔を狭くすることができ、その結果、走査電磁石 110 における消費電力を低減することができる。なお、ビームを走査電磁石 110 の中心位置を通過させる方法については後述する。

【0033】次に、走査電磁石 100 と走査電磁石 110 の制御について述べる。患部位置でのビームの走査の方向は、走査電磁石 100 と走査電磁石 110 の間のベータatron 振動の位相差で決まる。本実施例では、走査電磁石 100 と走査電磁石 110 の間のベータatron 振動の位相差が略 180 度であるので、図 2 (a) に示すように、患部位置においてビームは走査電磁石 100 で偏向された方向と逆の方向に走査される。例えば、走査電磁石 100 と走査電磁石 110 の間のベータatron 振動の位相差を略 360 度とすると、患部位置においてビームは走査電磁石 100 で偏向された方向と同じ方向に走査される。

【0034】また、本実施例において、走査電磁石 100 及び 110 のコイルには、正弦波で位相差が略 90 度である電流が電源 150 及び 160 よりそれぞれ供給され、それぞれの電流の振幅は、走査電磁石 110 の位置での XZ 面方向及び Y 方向の軌道勾配の最大値が等しくなるように制御される。その結果、ビームは患部位置で円弧を描く。なお、本実施例では患部位置においてビームを円形に走査しているが、走査電磁石 100 に供給する電流をのこぎり波または三角波とし、走査電磁石 110 に供給する電流を時間とともに増加するように制御することにより、ビームをジグザグに走査することもできる。また、走査電磁石 100 及び 110 のそれぞれに階段状に変化する電流を与え、磁場の時間変化が実質的に 0 のときにのみビームを照射する制御も考えられる。

【0035】上記のいずれの走査方法においても走査電磁石 110 の磁極の間隔を狭くすることができる。

【0036】走査電磁石 110 の下流には、位置モニター 500、形状モニター 501、及び線量モニター 502 が設けられており、それぞれビームの位置、ビームの形状、ビームの線量を検出する。各モニターの検出信号はデータ処理装置 50 に入力され、制御装置 30 において処理可能な信号に変換される。データ処理装置 50 で変換された各検出信号は、制御装置 30 に入力される。制御装置 30 は、入力された各モニターの検出信号に基づいて、電源 10、20、150 及び 160 を制御する。例えば、ビームの走査速度は、線量モニター 502 によって検出された線量に基づいて制御できる。

【0037】次に、ビームを走査電磁石 110 の中心位置を通過させる方法について説明する。走査電磁石 11

0 において、ビームを走査電磁石 110 の中心位置を通過させる方法としては、以下の方法がある。まず、回転ガントリーにおける四極電磁石や偏向電磁石の配置が予め決まっている場合は、走査電磁石 110 の位置を決めた後、走査電磁石 110 の上流側で、かつ走査電磁石 110 の位置に対してビームのベータatron 振動の位相差が略 180 度となる位置を走査電磁石 100 の位置とする。このことにより、走査電磁石 110 ではビームが中心位置を通過する。なお、位相差が略 180 度となる位置は、計算によって求めることができる。

【0038】一方、走査電磁石 100 及び 110 の位置を決めた後、走査電磁石 100 と走査電磁石 110 の間に配置された単数または複数の四極電磁石の磁場の磁場強度を調整することにより、走査電磁石 100 と走査電磁石 110 の間のベータatron 振動の位相差を略 180 度とすることもできる。なお、必要とされる四極電磁石の磁場の磁場強度は、計算によって求められる。

【0039】以上のように、上記いずれの場合でも走査電磁石の配置や四極電磁石の磁場強度を、計算により求めることが可能であるが、ビームを実際に出力して、位置モニター 500 及び形状モニター 501 によりビームの位置、サイズを検出し、その結果に応じて調整することもできる。

【0040】このように、走査電磁石 100 と走査電磁石 110 の間のベータatron 振動の位相差を略 180 度とすると、走査電磁石 100 が発生する磁場の磁場強度にかかわらず、ビームは常に走査電磁石 110 の中心位置を通過する。つまり、走査電磁石 100 による偏向量の違いによりビームの中心軌道が変化しても、ビームは必ず走査電磁石 110 の中心位置を通過するため、ビームの中心軌道を重ねあわせてみると走査電磁石 110 の中心位置でビームの中心軌道が交差する（以下、この交差する点をビームの焦点と呼ぶ）。

【0041】以上説明したように、ビームの焦点を走査電磁石 110 の中心位置に合わせることで、走査電磁石 110 の磁極の間隔を狭くすることができ、よって、走査電磁石 110 における消費電力を低減することができる。また、走査電磁石 110 の磁極の間隔を狭くすることにより、走査電磁石 110 からの漏れ磁場を低減することができるため、走査電磁石 110 の周辺にある機器への磁場の影響を軽減することができる。例えば、周辺の機器に流れる渦電流を低減することができる。

【0042】更に、本実施例によれば、照射ノズル 40 内に配置される走査電磁石が 1 つであり、従来の 2 つ配置する場合に比べて、照射ノズル 40 における機器配置のスペースが広がる。従って、照射ノズル 40 内の機器の組み立てが容易になり、作業効率が向上する。また、照射ノズル 40 内に配置する走査電磁石が 1 つになったことにより、照射ノズル 40 の重量が軽くなるの

で、照射ノズル 40 の支持構造を簡略化できる。

【0043】（実施例 2）本発明の他の実施例である荷電粒子ビーム出射装置を図 3 を用いて以下に説明する。なお、本実施例については、主に前述の実施例 1 と異なる箇所について説明する。

【0044】本実施例では、図 3 に示すように、回転ガントリーの偏向電磁石を 6 と 7' の 2 台とした。実施例 1 に比べて、本実施例では回転ガントリーの偏向電磁石の数が 1 台少ないため、電源 20 の数も 1 台少なくなり、制御装置 30 により制御する電源の数を 1 台減らすことができる。よって、制御装置 30 における制御が簡単になり、制御装置 30 の構成も簡単化できる。また、実施例 1 と同様の作用効果も得ることができる。なお、本実施例では、ビームの焦点が走査電磁石 110 の中心位置にくるように、走査電磁石 100 の下流に配置される四極電磁石 4 によるビームの偏向量を調節する。

【0045】（実施例 3）本発明の他の実施例である荷電粒子ビーム出射装置を図 4 を用いて以下に説明する。なお、本実施例については、主に前述の実施例 1 と異なる箇所について説明する。

【0046】本実施例では、図 4 に示すように、回転ガントリーの偏向電磁石を 4 台で構成し、走査電磁石 110 を偏向電磁石 7 と偏向電磁石 8 の間に配置する。また、偏向電磁石 8 の下流には、四極電磁石 5 及び偏向電磁石 9 が配置される。

【0047】図 5 は、回転ガントリーを直線で表わした場合のビームの中心軌道及び各電磁石の配置を示す。なお、図 5 (a) は偏向電磁石 6～9 の偏向面に対して垂直な方向 (Y 方向) から見た回転ガントリーを示し、図 5 (b) は偏向電磁石 6～9 の偏向面内方向 (XZ 面方向) から見た回転ガントリーを示す。

【0048】図 5 (a) に示すように、Y 方向から見ると、走査電磁石 100 により偏向されたビームは、四極電磁石 4 によりベータatron 振動の位相が調整され、走査電磁石 110 の中心位置にビームの焦点が合わせられる。走査電磁石 110 を通過したビームは、偏向電磁石 8、四極電磁石 5、偏向電磁石 9 を順に通過するが、通過する際に各電磁石が発生する磁場により偏向され、偏向電磁石 9 から出力されるとききのビームの向きは、走査電磁石により偏向しない場合のビームの中心軌道（以下、設計軌道と呼ぶ）と平行になっている。なお、四極電磁石 5、偏向電磁石 8 及び 9 において必要とされる磁場は計算により求められ、その値に応じて電源 10、20 が制御される。

【0049】一方、図 5 (b) に示すように、XZ 面方向から見ても、走査電磁石 110 により偏向されたビームは、偏向電磁石 8、四極電磁石 5、偏向電磁石 9 を通過する際に、各電磁石の磁場により偏向され、偏向電磁石 9 から出力されるときには、ビームの向きは設計軌道と平行になっている。

【0050】本実施例によれば、設計軌道と平行なビームを出力するため、設計軌道に対して角度を持つビーム（ファンビーム）を出力する場合に比べて、正常組織における線量を低減できる。なお、この線量を低減できるという効果は、体表に近い部分ほど大きくなる。

【0051】また、走査電磁石 110 を、回転ガントリーの照射ノズル 40 からビーム輸送系に移動したため、回転ガントリーの回転半径を小さくすることができる。よって、回転ガントリーが配置される建屋を小さくすることができ、建設コストを低減できる。加えて、照射ノズル 40 に走査電磁石を配置しないため、照射ノズル 40 における機器配置のスペースが更に広がる。従って、照射ノズル 40 内の機器の組み立てが容易になり、作業効率が向上する。また、照射ノズル 40 内に走査電磁石を配置しないので、照射ノズル 40 の重量がより軽くなり、照射ノズル 40 の支持構造をより簡略化できる。

【0052】更に、本実施例によれば、前述の実施例 1 と同様の作用効果も得ることができる。

【0053】なお、図 4 に示す構成に限らず、図 6 及び図 7 に示す荷電粒子ビーム出射装置でも本実施例と同様の作用効果が得られる。つまり、図 6 及び図 7 の荷電粒子ビーム出射装置は、走査電磁石 110 が回転ガントリーのビーム輸送系にあり、かつ走査電磁石 110 の下流に偏向電磁石或いは四極電磁石が配置され、しかもビームの焦点が走査電磁石 110 の中心位置となるように構成されている。

【0054】（実施例 4）本発明の他の実施例である荷電粒子ビーム出射装置を図 8 を用いて以下に説明する。なお、本実施例については、主に前述の実施例 1 と異なる箇所について説明する。

【0055】本実施例では、図 8 に示すように、走査電磁石 110 の下流に散乱体 700 を配置している。従って、走査電磁石 110 から出力されたビームは、散乱体 700 により径が拡大されて患部に照射される。このように、散乱体 700 でビームの径を拡大することにより、ビームの走査量を減らすことができ、ビームを照射する時間を低減できる。なお、本実施例では、散乱体 700 を走査電磁石 110 の下流に配置しているが、ビームの軌道上であれば散乱体 700 をどこに配置してもビームの径を拡大でき、ビームの走査量を減らすことができる。しかし、走査電磁石 110 の上流で、かつ走査電磁石 110 から離れた位置に散乱体 700 を配置すると、走査電磁石 110 の磁極の間隔を広げなければならなくなるため、散乱体 700 は、本実施例のように走査電磁石 110 の下流に配置するか、或いは上流で、かつ走査電磁石 110 に近い位置（例えば、走査電磁石 110 と偏向電磁石 8 の間）に配置するのが好ましい。

【0056】また、本実施例によれば、走査電磁石 100、110 によるビームの走査と、散乱体 700 による

ビームの拡大の両者の効果により、必要な領域を一樣に照射することができる。

【0057】更に、散乱体700を用いることにより、ビームのエネルギーが変更された場合でも、ビームの形状を一定にすることができる。照射ノズル40には、位置モニター500、形状モニター501、及び線量モニター502などの機器が配置されており、これらの機器によりビームは散乱されて拡大するが、ビームのエネルギーが変更された場合、上記機器による散乱強度が異なるために、患部におけるビームの径が変化する。しかし、散乱体700をビームのエネルギーに応じて自動ないしは手動により交換することにより、ビームの径の変化分を調整することができる。

【0058】なお、本実施例においても、実施例1と同様の作用効果を得ることができる。以上説明した各実施例では、ビームの焦点を走査電磁石110の中心位置に合わせているが、必ずしも走査電磁石110の中心位置である必要はなく、ビームの焦点を走査電磁石110の有効磁場範囲内とすれば、従来の荷電粒子ビーム出射装置と比較して、走査電磁石110の磁極の間隔を十分狭くすることができる。なお、有効磁場範囲とは走査電磁石110が発生する磁場のうちビームを偏向させる磁場が発生している範囲をいう。具体的には、走査電磁石110の磁極の端部から磁極の間隔程度離れた位置までが有効磁場範囲となる。このように有効磁場範囲が磁極の外側にまで及ぶのは、漏れ磁場が存在するためである。また、各実施例では、走査電磁石100と走査電磁石110の間のベータatron振動の位相差を略180度としているが、略180度の整数倍であれば同様の効果が得られる。

【0059】更に、各実施例では走査電磁石100の下流に配置される四極電磁石を1台或いは2台としているが、走査電磁石100と走査電磁石110の距離がベータatron振動の位相差が略180度あるいは略180度の整数倍になる距離であれば、四極電磁石の数が3台以上であっても同様の効果が得られることは言うまでもない。また、四極電磁石と偏向電磁石の位置関係についても、走査電磁石100と走査電磁石110の距離がベータatron振動の位相差が略180度あるいは略180度の整数倍になるように配置されるのであれば、前述の各実施例の構成に限定されるものではない。

【0060】加えて、各実施例ではビーム走査用に電磁石を用いているが、永久磁石を回転させることにより回転磁界を作って、ビームを円形に走査してもよい。また、各実施例では照射装置として患者用ベッドの回りを回転可能な回転ガントリーについて説明しているが、固定の照射装置や、ビームの輸送装置が直線状の照射装置でも偏向電磁石及び四極電磁石を適切に配置することにより同様の作用効果を得られる。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように第1発明によれば、走査電磁石の磁極の間隔を狭くすることができ、走査電磁石における消費電力を低減することができる。

【0062】第2発明によれば、第2走査電磁石の磁極の間隔を狭くすることができ、第2走査電磁石における消費電力を低減することができる。

【0063】第3発明によれば、第2走査電磁石の磁極の間隔を最小にすることができ、第2走査電磁石における消費電力を大幅に低減することができる。

10 【0064】第4～第6発明によれば、第2発明と同様の作用効果を得ることができる。

【0065】第7発明によれば、荷電粒子ビームの中心軌道を、走査電磁石により偏向しない場合の荷電粒子ビームの中心軌道と平行にすることができ、正常組織における線量を低減できる。

【0066】第8発明によれば、正常組織における線量を低減できる。

20 【0067】第9発明によれば、回転ガントリーの回転半径を小さくすることができ、回転ガントリーが配置される建屋を小さくできるため、建設コストを低減できる。

【0068】第10発明によれば、荷電粒子ビームの走査量を減らすことができ、荷電粒子ビームを照射する時間を低減できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の好適な一実施例である荷電粒子ビーム出射装置の構成図である。

【図2】図1の実施例における荷電粒子ビームの中心軌道と各電磁石の配置を示す図である。

30 【図3】本発明の他の実施例である荷電粒子ビーム出射装置の構成図である。

【図4】本発明の他の実施例である荷電粒子ビーム出射装置の構成図である。

【図5】図4の実施例における荷電粒子ビームの中心軌道と各電磁石の配置を示す図である。

【図6】本発明の他の実施例である荷電粒子ビーム出射装置の構成図である。

【図7】本発明の他の実施例である荷電粒子ビーム出射装置の構成図である。

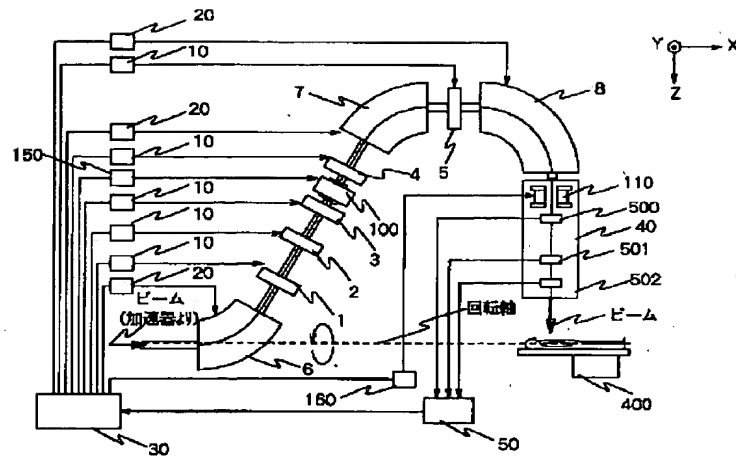
40 【図8】本発明の他の実施例である荷電粒子ビーム出射装置の構成図である。

【図9】従来の荷電粒子ビーム出射装置の構成図である。

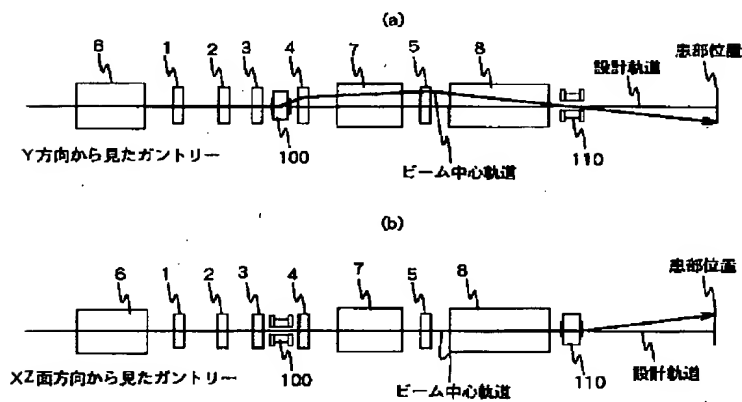
【符号の説明】

1, 2, 3, 4, 5…四極電磁石、6, 7, 8, 9…偏向電磁石、10, 20, 150, 160…電源、30…制御装置、40…照射ノズル、100, 110…走査電磁石、400…患者用ベッド、500…位置モニター、501…形状モニター、502…線量モニター、700…散乱体。

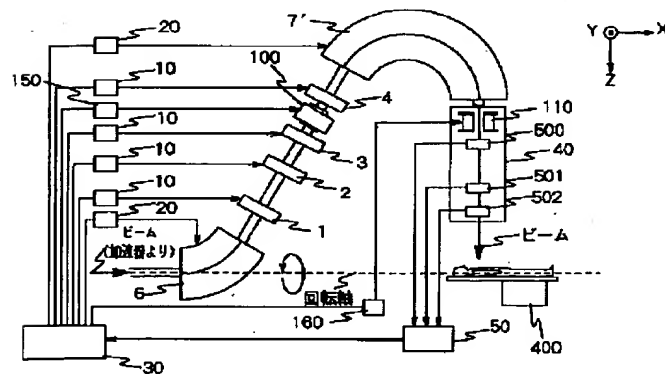
【図1】



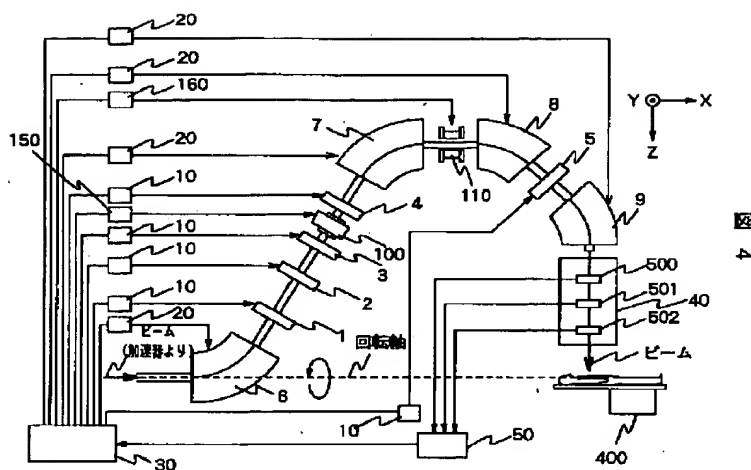
【図2】



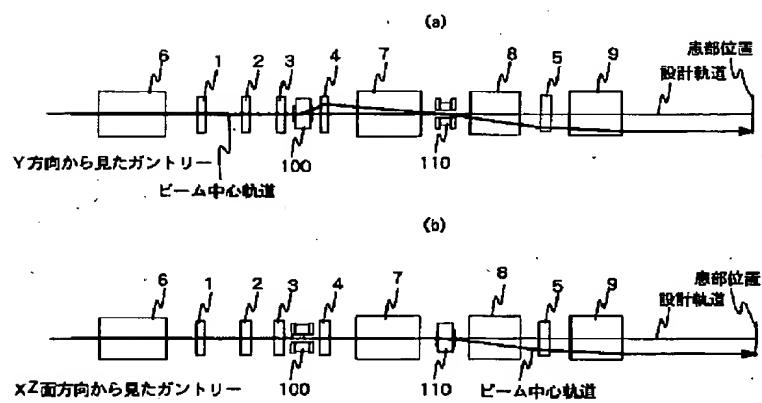
【図3】



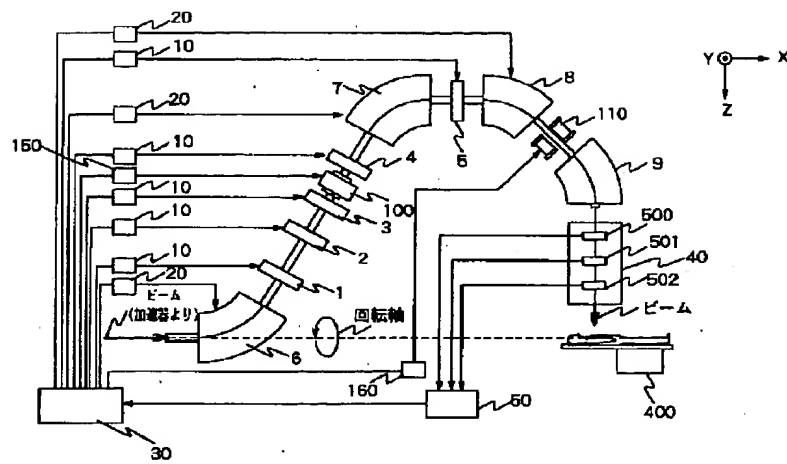
【図4】



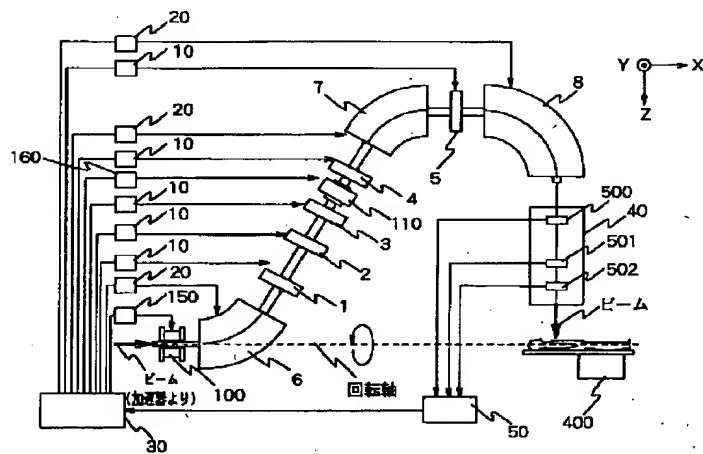
【図5】



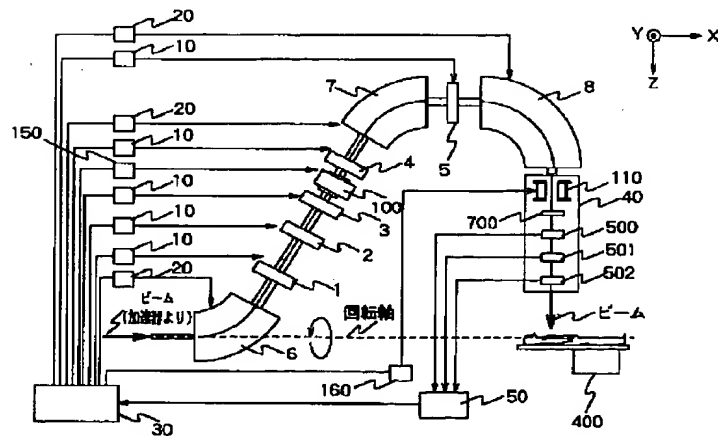
【図6】

図
6

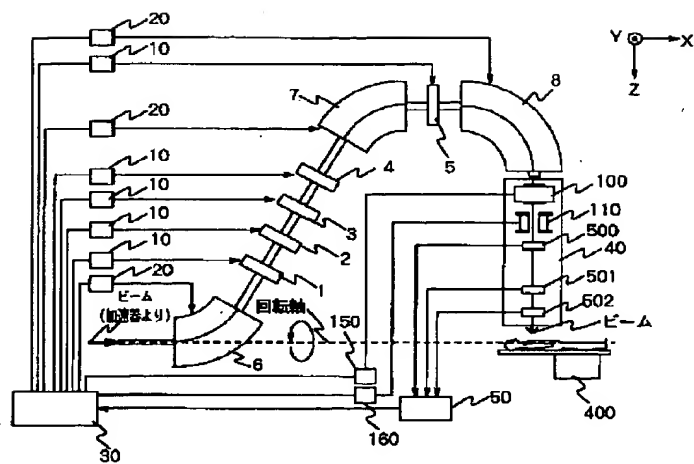
【図7】

図
7

【図8】

図
8

【図 9】

図
6

フロントページの続き

(72) 発明者 乗峯 哲朗

茨城県日立市大みか町七丁目 2 番 1 号 株
式会社日立製作所電力・電機開発本部内